

3. Топливо и расчеты его горения: учебное пособие / С.Н. Гушин, Л.А. Зайнуллин, М.Д. Казяев, Б.П. Юрьев, Ю.Г. Ярошенко; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 105 с.

УДК 621.365.2:662.612.11/321/322

И. В. Глухов, Г. В. Воронов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СЖИГАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КИСЛОРОДОМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Аннотация. В современной электрометаллургии наметилась тенденция к комплексному применению различных способов интенсификации тепловой работы ДСП. Широко распространилось использование стеновых газокислородных горелок и рафинирующих фурм. В представленной работе рассмотрены конструкции горелок, используемых на действующих печах фирм VAI FUCHS, SMS DEMAG, НТПФ «Эталон», исследованы варианты конструкций горелок со смешиванием природного газа с кислородом в объеме горелки и в диффузоре. На основе результатов компьютерного моделирования в программе ANSYS в модуле CFX исследованы температурные поля с целью возможного возникновения проскока пламени и предложена конструкция горелки, исключающая проскок пламени при обеспечении кинетического режима сжигания природного газа в кислороде.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, горелка, факел, конструкция, кинетический, диффузионный, смесь.

Abstract. In modern electrometallurgy, there is a tendency towards the complex application of various methods of intensifying the thermal work of EAF. The use of wall gas-oxygen burners and refining tuyeres has become widespread. In the presented work, the designs of burners used on operating furnaces of VAI FUCHS, SMS DEMAG, NTPF "Etalon" are considered, variants of designs of burners with mixing of natural gas with oxygen in the volume of the burner and in the diffuser are investigated. Based on the results of computer simulation in the ANSYS program in the CFX module, temperature fields were investigated with the aim of the possible occurrence of flame breakthrough, and a burner design was proposed that excludes flame breakthrough while ensuring the kinetic mode of combustion of natural gas in oxygen.

Key words: arc steelmaking furnace, burner, torch, construction, kinetic, diffusion, mixture.

Газовая горелка предназначена для формирования факела с заданным режимом горения газа с окислителем, с наперед заданными геометрическими параметрами ($l_{\text{ф}}$ – полная длина, $l_{\text{иг}}$ – длина интенсивного горения, угол раскрытия и т.д.), температурой и химическим составом продуктов сгорания при минимальном химическом недожоге [1-6].

В дуговой сталеплавильной печи газокислородные горелки предназначены прежде всего для ускоренного нагрева шихты первой корзины, чтобы обеспечить подачу окончательной массы завалки в рабочее пространство. Прогрев всей массы шихты до температуры плавления должен происходить равномерно по всему объему без локальных зон перегрева и оплавления. Образование

поверхностной жидкой фазы приводит к снижению порозности и газопроницаемости при заполнении пустот, расположенных в нижних слоях шихты.

Интенсивное плавление возможно при условии, если создается максимальный уровень теплоотдачи в объеме слоя материалов шихты. Учитывая, что сжигание газа с кислородом производят в диффузионном режиме, когда перемешивание газа с окислителем происходит после истечения их из горелки, и кинетическом – при условии качественно предварительно подготовленной смеси газа с окислителем, необходимо уточнить рациональный для ДСП из этих режимов.

При диффузионном турбулентном режиме горения в факеле отмечают отдельные объемные участки с повышенным содержанием кислорода, что оказывает влияние на температуру и теплообмен, снижая их, и массообмен, повышая угар компонентов шихты.

В турбулентном факеле при кинетическом режиме горения отмечают однородность химического состава, равномерность температуры в сопряженных объемах и равнорассосредоточенность тепломассообменных процессов. Исключение из процесса горения перемешивание газа с кислородом приводит к изменению геометрических параметров факела.

При таком режиме горения возникают вопросы, где конструктивно подготовить смесь и как подать ее в факел, так как при определенных режимах истечения смеси из горелки горение смеси распространяется в горелку, т.е. происходит проскок пламени [7, 8].

Схема горелки фирмы VAI FUCHS 6,5/120t представлена на рис. 1 и техническая характеристика – в таблице 1 [9].

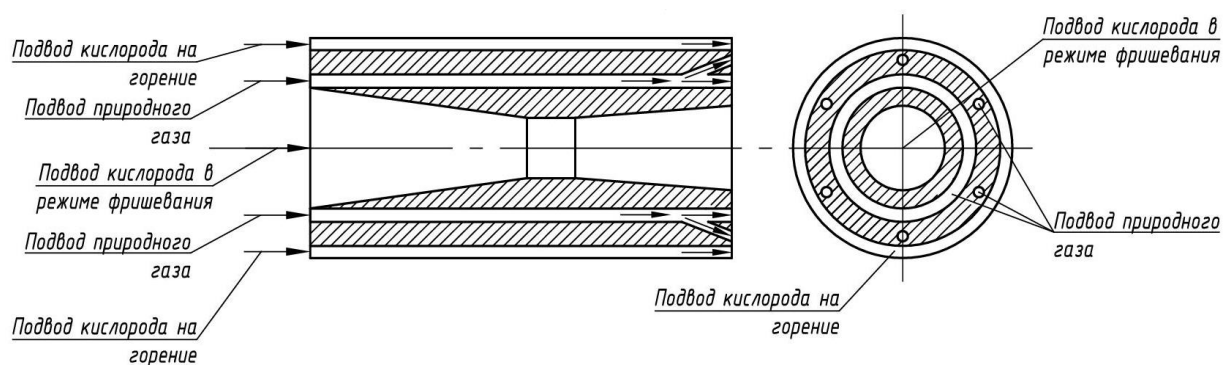


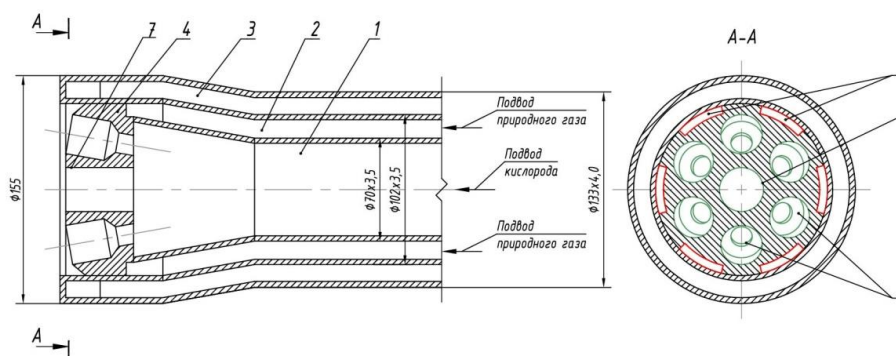
Рис. 1. Конструкция газокислородной горелки ДСП фирмы VAI FUCHS с тепловой мощностью 3,5 МВт

На рис. 2 представлена схема горелки фирмы НТП «Эталон». Горелка состоит из центрального канала (1) для подачи кислорода, периферийного канала (5) для подачи природного газа и наружного канала (3) для подачи воды на охлаждение. Головка горелки имеет систему из шести наклонных отверстий (6) и одного центрального для истечения кислорода и систему из шести плоских периферийных каналов для истечения природного газа.

Таблица 1

Техническая характеристика стеновых газокислородных горелок (СГКГ).

Параметр	Значение
Количество стеновых горелок на печи, шт	4
Тепловая мощность одной горелки, МВт	3,5
Расход природного газа на одну горелку (при постоянном давлении 6 бар), м³/ч (м³/с)	100-350 (0,028-0,097)
Расход кислорода на одну горелку (при постоянном давлении 7-14 бар), м³/ч (м³/с)	200-800 (0,056-0,222)
Расход сжатого воздуха на одну фурму (при постоянном давлении 7-14 бар), м³/ч (м³/с)	80-150 (0,022-0,042)
Диапазон регулирования угла наклона горелки по вертикали и горизонтали, град	±10



- 1 – канал подачи кислорода; 2 – канал подачи природного газа
 3 – водяная рубашка; 4 – головка; 5 – отверстия для истечения природного газа;
 6 – отверстия для истечения кислорода; 7 – центральный канал.

Рис. 2. Конструкция газокислородной горелки для ДСП фирмы НТП «Эталон»

На рисунке 3 представлена схема горелки фирмы SMS DEMAG.

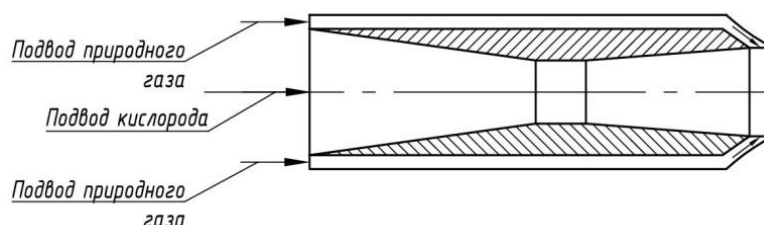


Рис. 3. Конструкция газокислородной горелки ДСП фирмы SMS DEMAG

Перемешивание природного газа и кислорода в данном случае происходит в свободном объеме на выходе из горелки. Горелка создает диффузионный режим горения, при котором окисление горючих компонентов природного газа происходит за пределами горелки, распространяясь в слое шихты или над поверхностью расплава

Кинетический режим сжигания природного газа с кислородом следует считать предпочтительным. Предварительно подготовленная смесь сгорает в факеле меньшей длины по сравнению с диффузионным режимом горения при

равных исходных условиях. Горение в слое шихтовых материалов компонентов исходного топлива будет отсутствовать. Температура продуктов сгорания становится максимальной при входе в слой шихты.

В работе рассмотрены различные варианты сжигания природного газа с кислородом в кинетическом режиме, представленные на рисунке 4.

а) Варианты со смешиванием в горелке

б) Варианты со смешиванием в диффузоре

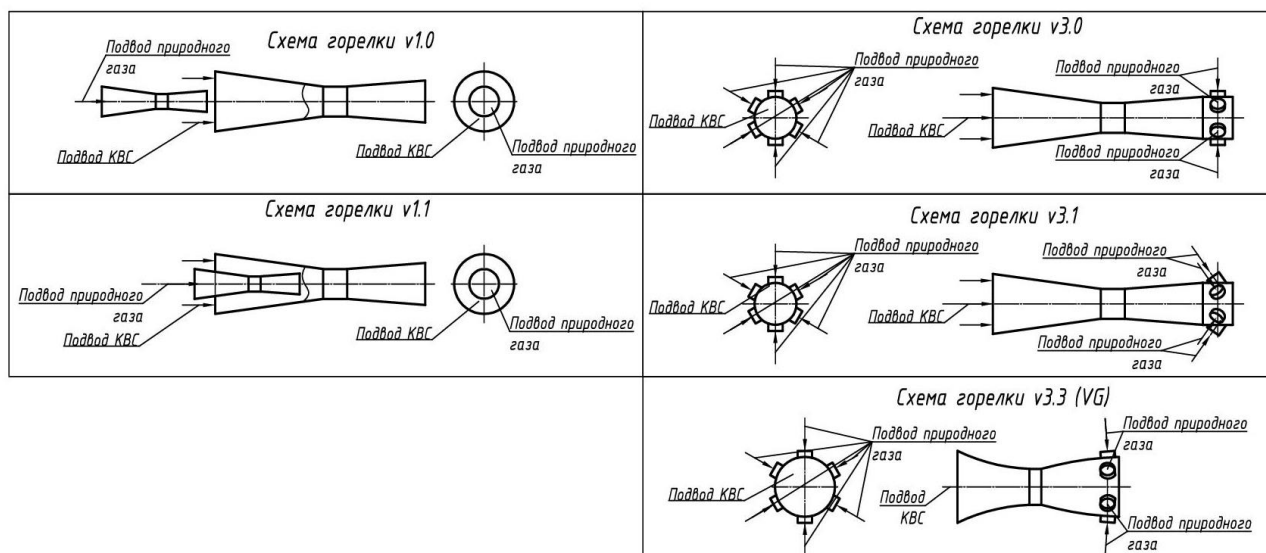


Рис. 4. Варианты исследованных газокислородных горелок

Экспериментальные исследования требуют больших материальных затрат на создание методической разработки и приборного обеспечения при тестировании образцов. Компьютерное моделирование при разработке рациональной конструкции горелки позволяет избежать создания промежуточных конструкций и оценить влияние на характеристики факела конструктивных изменений.

Исследование горения природного газа с разной концентрацией кислорода в окислителе производилось с помощью компьютерного моделирования в пакете программ ANSYS в модуле CFX.

На первом этапе по результатам расчета сопла Лавалья была построена 3D модель горелки в пакете КОМПАС-3D.

На втором этапе геометрическую модель импортировали в пакет Ansys в Design Modeler. В автоматическом сеточном генераторе ANSYS Meshing была построена сетка с шагом в объеме горелки – 2 мм, а в объеме горения факела – 5 мм. В результате такого построения получилось 1 423 425 узлов расчета и 7 607 414 элементов при максимальной длине ребра гексагональной сетки – 3,16 мм.

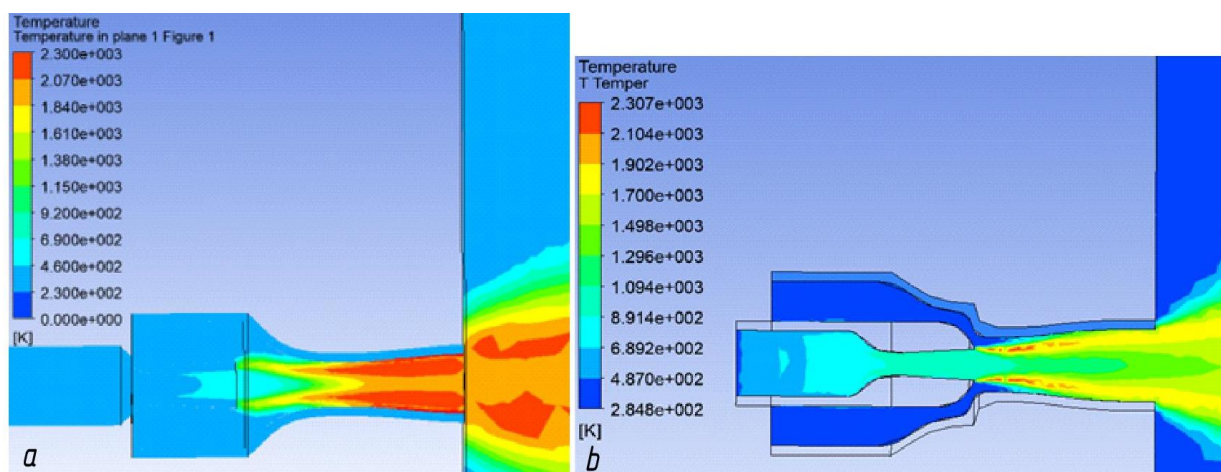
На третьем этапе в Setup определили расчетную модель и задали граничные условия параметров. Расчет горения производился с помощью расширенной когерентной модели Flamelet (ECFM), расчет теплопереноса задали «Total Energy», модель турбулентности задали «k-Epsilon».

Модель ЕСФМ является наиболее точной моделью, для расчета горения предварительно перемешанной смеси топлива и окислителя. ЕСФМ разделяет структуру для предварительно смешанного или частично предварительно смешанного горения с моделью скорости горения (BVM).

Для генерации реакции горения с помощью инструмента «CFX-RIF» задали горючую смесь и окислитель. Для окислителя и топлива были заданы начальные условия температура 288 К и давление в рабочем пространстве ДСП равно атмосферному.

Задали непроницаемые границы корпуса горелки, в областях подачи окислителя и природного газа задали – «Inlet», в области выхода продуктов сгорания – «Outlet». На входе задали расход природного газа и окислителя.

В конструкции горелок с началом внутреннего перемешивания природного газа с кислородом в конфузоре (рис. 5, *a*), перед цилиндрическим смесителем (рис. 5, *b*) не удалось исключить распространение пламени в горелку (проскок). Горение начиналось во внутреннем объеме горелки.



a – $v_{1.0}$ с началом перемешивания природного газа и кислорода в конфузоре;
b – $v_{1.1}$ с началом перемешивания природного газа и кислорода
 перед цилиндрическим смесителем

Рис. 5. Распределение температуры в горелке горелки:

При сжигании природного газа с компрессорным воздухом результат получился аналогичным см. рис. 6.

В вариантах горелок со смешиванием внутри горелки не удалось исключить проскок пламени, вследствие чего горение распространялось в объем горелки.

В ходе моделирования наиболее удачной в конструктивном плане для сжигания природного газа с кислородом в кинетическом режиме оказалась горелка версии VG. На рис. 7 представлена схема горелки, перемешивание природного газа и кислорода происходит в диффузоре при внешнем подводе природного газа. Особенность этой модели состоит в том, что подвод природного газа в поток окислителя происходит через отверстия в диффузоре сопла, не создавая при этом гидравлического сопротивления потоку окислителя.

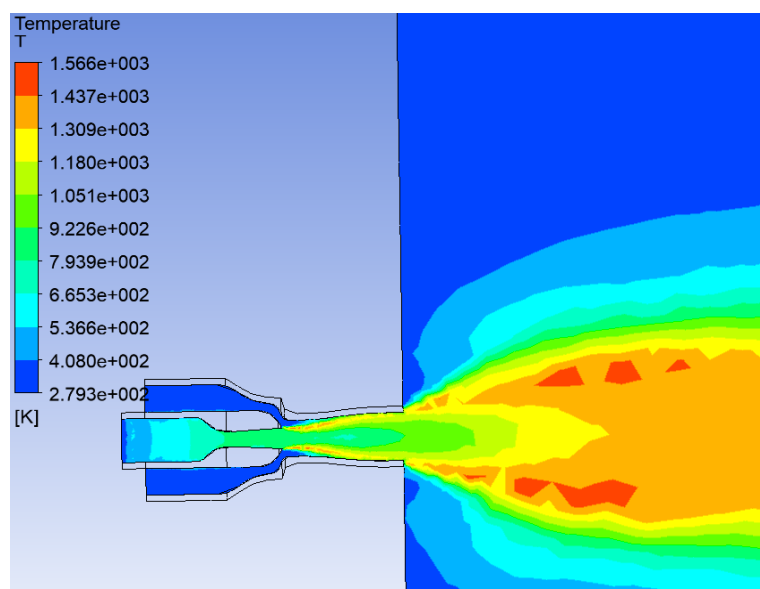


Рис. 6. Распределение температуры в горелке v1.1 с перемешиванием природного газа и воздуха в цилиндрическом смесителе

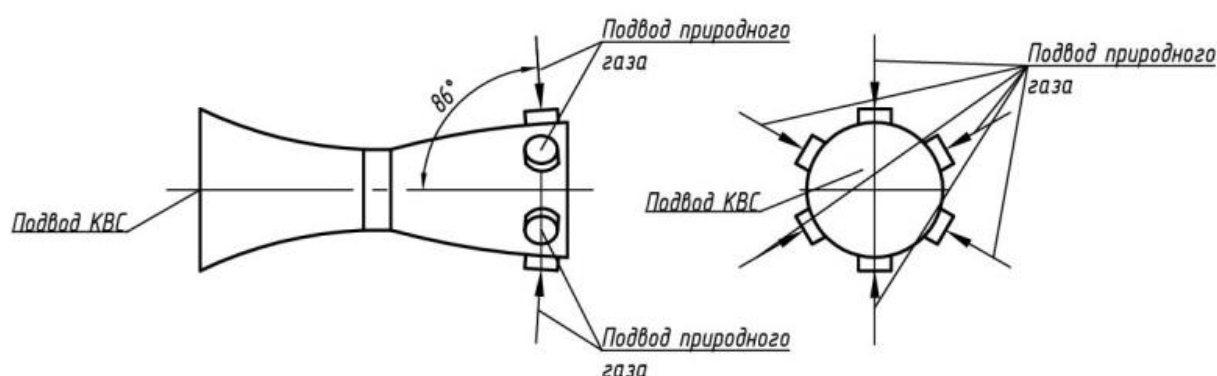


Рис. 7. Схема горелки, принятая для исследований

Исследование сжигания природного газа с кислородом в кинетическом режиме показали, что при существующих конструкциях горелок проскок пламени возможен при любой концентрации кислорода в окислителе. Проскок факела с кинетическим режимом горения при условии смешивания природного газа с кислородом в диффузоре не наблюдается.

Список использованных источников

1. Арсеев А.В. Сжигание природного газа. – М.: Металлургиздат, 1963. – 408 с.
2. Винтовкин А.А., Ладыгичев М.Г., Гусовский В.Л., Капинова Т.В. Горелочные устройства промышленных печей и топок (конструкции и технические характеристики). Справочник. – М.: Теплотехник, 2008. – 553 с.

3. Лисиенко В.Г., Воронов Г.В., Китаев Б.И., Кокарев Н.И. Исследование факела природного газа применительно к условиям сталеплавильных печей // XI Международный конгресс, Москва, 9-13 июля 1970 г.; NIGU/E 24-70. – 16 с.
4. Винтовкин А.А., Деньгуб В.В., Воронов Г.В. Топливо, его сжигание и взрывобезопасность. – Екатеринбург: Межрегиональный издательский центр, 2015. – 303 с.
5. Лисиенко В.Г., Китаев Б.И., Кокарев Н.И. Усовершенствование методов сжигания природного газа в сталеплавильных печах. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
6. Старцев В.А. Скрап карбюраторный процесс при производстве стали в мартеновских печах / В.А. Старцев, Г.В. Воронов, В.И. Лобанов, Э.А. Шумахер, Э.Э. Шумахер. – Екатеринбург, 2004. – 225 с.
7. Глинков М.А. Основы общей теории печей. – М.: Металургиздат, 1962. – 575 с.
8. Вольк К., Шипмэн К.Ч. Диффузионные пламена. Процессы горения. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. С. 307-340.
9. Глухов И.В., Мехряков Д.В., Воронов Г.В., Вдовин К.М., Рыбак А.А., Таранов В.В. Энергосбережение в современной дуговой сталеплавильной печи ДСП-120 // Сталь. 2020. № 5. С. 21-23.

УДК 669.01

А. Н. Горбунова, И. А. Прибытков

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС»», г. Москва, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ

Аннотация. Водород является современным альтернативным источником энергии. Данный элемент применяется во многих сферах человеческой жизни, в том числе и в металлургии. В статье были рассмотрены варианты расчета горения смесей водорода с различными газами. Обсуждалась перспектива использования водорода в качестве источника теплоты в промышленных печах. Был сделан вывод, что эффективность использования водорода достигается в смеси с низкокалорийными газами.

В исследовании проводились результаты расчетов горения чистого водорода в воздухе при различных степенях обогащения кислородом, доменно-водородной смеси при различной доле водорода в смеси. Определены наиболее рациональные интервалы изменения содержания водорода в смеси к степени обогащения воздуха кислородом.

Ключевые слова: водород, водородная энергетика, горение, источник теплоты, нагревательные печи, альтернативные источник энергии.

Abstract. Hydrogen is a modern means of energy. This element is used in many areas of life, including metallurgy. The article considered options for calculating the combustion of mixtures with various gases. The ability to use hydrogen as heat in industrial furnaces was discussed. It was concluded that the efficiency of using hydrogen in mixtures with low-calorific gases.